



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Shinya YAMAGUCHI

Application No.: Unassigned

Group Art Unit: Unassigned

Filed: May 29, 2001

Examiner: Unassigned

For: APPARATUS AND METHOD FOR SIMULATING THE RECEIVING CHARACTERISTIC
OF RADIO WAVES

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. §1.55**

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. §1.55, the applicant(s) submit(s) herewith
a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2000-393989

Filed: December 26, 2000

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. §119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: May 29, 2001

By:


James D. Halsey, Jr.
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500
Washington, D.C. 20001
(202) 434-1500

PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

Date of Application: December 26, 2000

Application Number: Patent Application
No. 2000-393989

Applicant(s): FUJITSU LIMITED

February 16, 2001

Commissioner,
Patent Office Kozo Oikawa

Certificate No. 2001-3007760

日 本 国 特 許 庁
PATENT OFFICE
JAPANESE GOVERNMENT



別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application:

2 0 0 0 年 1 2 月 2 6 日

出 願 番 号
Application Number:

特 願 2 0 0 0 - 3 9 3 9 8 9

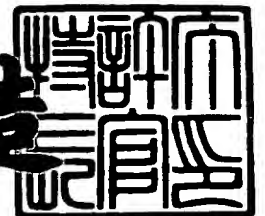
出 願 人
Applicant (s):

富士通株式会社

2 0 0 1 年 2 月 1 6 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Patent Office

及 川 耕 造



出 証 番 号 出 証 特 2 0 0 1 - 3 0 0 7 7 6 0

【書類名】 特許願

【整理番号】 0051992

【提出日】 平成12年12月26日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 G06F 17/12

【発明の名称】 電波の受信特性をシミュレートする装置および方法

【請求項の数】 5

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 山口 慎哉

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 長瀬 健二

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 大津 信一

【発明者】

【住所又は居所】 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内

【氏名】 向井 誠

【特許出願人】

【識別番号】 000005223

【氏名又は名称】 富士通株式会社

【代理人】

【識別番号】 100074099

【住所又は居所】 東京都千代田区二番町8番地20 二番町ビル3F

【弁理士】

【氏名又は名称】 大菅 義之

【電話番号】 03-3238-0031

【選任した代理人】

【識別番号】 100067987

【住所又は居所】 神奈川県横浜市鶴見区北寺尾 7 - 2 5 - 2 8 - 5 0 3

【弁理士】

【氏名又は名称】 久木元 彰

【電話番号】 045-573-3683

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 012542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9705047

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電波の受信特性をシミュレートする装置および方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするシミュレーション装置であって、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算する第 1 の電流計算手段と、

前記発生源の電流値を格納する電流格納手段と、

前記発生源と前記物体の位置関係が変化したとき、該物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、前記電流格納手段に格納された電流値を定数とする、物体の連立方程式を用いて、物体の電流値を計算する第 2 の電流計算手段と、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、該物体の受信特性を出力する出力手段と

を備えることを特徴とするシミュレーション装置。

【請求項 2】 前記第 2 の電流計算手段は、前記物体の要素間の相互インピーダンスを計算する手段と、前記発生源の要素と前記物体の要素の間の相互インピーダンスを計算する手段と、前記物体の要素間の相互インピーダンスの行列データを格納する行列格納手段とを含み、前記発生源の位置が変化したとき、新たな位置に対応する前記発生源の要素と物体の要素の間の相互インピーダンスを計算し、前記行列格納手段に格納された行列データを係数行列として用いて、該新たな位置に対応する物体の連立方程式を生成し、新たな電流値を計算することを特徴とする請求項 1 記載のシミュレーション装置。

【請求項 3】 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするシミュレーション装置であって、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の該発生源の要素間の相互インピーダンスのデータと、前記物体を複数の要素に分割した場合の該物体の要素間の相互インピーダンスのデータとを、該発生源の位置に依存しないデータとして格納す

るインピーダンス格納手段と、

前記発生源の位置が変化したとき、新たな位置に対応する前記発生源の要素と前記物体の要素の間の相互インピーダンスを計算する手段と、

前記発生源および物体の各要素に流れる電流を未知数とし、前記インピーダンス格納手段に格納されたデータと、前記発生源の要素と物体の要素の間の相互インピーダンスとからなる行列を係数行列とする、連立方程式を用いて、電流値を計算する電流計算手段と、

前記電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、該物体の受信特性を出力する出力手段と

を備えることを特徴とするシミュレーション装置。

【請求項 4】 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするコンピュータのためのプログラムを記録した記録媒体であって、該プログラムは、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算し、

前記発生源の電流値を保存し、

前記発生源と前記物体の位置関係が変化したとき、該物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、保存された電流値を定数とする、物体の連立方程式を用いて、物体の電流値を計算し、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、

前記物体の受信特性を出力する

処理を前記コンピュータに実行させることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【請求項 5】 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするシミュレーション方法であって、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を生成し、

前記発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算し、

前記発生源の電流値を保存し、

前記発生源の位置に応じて、前記物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、保存された電流値を定数とする、物体の連立方程式を生成し、

前記物体の連立方程式を用いて、前記発生源の位置に対応する物体の電流値を計算し、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、

前記物体の受信特性を提示すること
ことを特徴とするシミュレーション方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電波発生源から送信された電波の解析に係り、電波を受信する物体の受信特性をシミュレートする装置および方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

携帯電話や自動車アンテナのように、外部からの電波を受信する製品にとっては、アンテナの指向特性に基づく受信感度が重要な要素となる。これらの製品を、被試験物 (equipment under test, EUT) と呼ぶことにすると、EUTが外部からの電波に対してどのような指向特性を持っているかを、ヴァーチャルにモデル化し計算するソフトウェアは、従来より用いられている。

【0003】

図11は、このようなモデルにおいて、電波発生源（波源）となる送信アンテナとEUTに含まれる受信アンテナの関係を示している。図11において、受信アンテナ12を中心として送信アンテナ11を任意角度 θ だけ回転させ、送信アンテナ11から電界を照射したときの受信アンテナ12の任意点の電圧 V_{in} を求めることで、受信アンテナ12の指向特性を調べることができる。この V_{in} は、受信アンテナ12の受信感度と呼ばれる。このとき、回転角度 θ によって V_{in} の値が変化し、図12に示すような指向特性が現れる。

【0004】

図 1 2 において、座標軸 1 3 は、受信アンテナ 1 2 の受信感度が最大となる方向を表し、この座標軸 1 3 を任意角度 θ だけ回転させて得られる直線 1 4 上において、原点 O から曲線 1 5 上の点 P までの長さが、 θ に対する V_{in} を表す。言い換えれば、曲線 1 5 は、角度 θ のそれぞれの値に対する電圧 V_{in} の値を表している。

【 0 0 0 5 】

受信アンテナ 1 2 を任意形状の E U T に置き換えて、その指向特性を求める方法の 1 つとして、モーメント法が知られている。モーメント法は、例えば、「電磁界強度算出装置」（特開平 7 - 2 3 4 8 9 0）に記載されているように、マックスウェルの電磁波方程式から導かれる積分方程式の解法の 1 つであり、物体を多数の小さな要素に分割して、各要素に流れる電流を計算する方法である。各要素に流れる電流が分かれば、物体の任意点の電圧を求めることができる。

【 0 0 0 6 】

E U T の指向特性をモーメント法で求めるには、送信アンテナと E U T からなるシステムをモデル化し、システムを小さな要素に分割して、E U T の各要素に流れる電流を計算する必要がある。モーメント法の連立方程式は、次式で与えられる。

$$[Z_{ij}] [I_j] = [V_i] \quad (1)$$

ここで、 $[Z_{ij}]$ は、システムの i 番目の要素と j 番目の要素の間の相互インピーダンス Z_{ij} を要素とする行列であり、 $[I_j]$ は、 j 番目の要素に流れる電流 I_j を要素とする列ベクトルであり、 $[V_i]$ は、 i 番目の要素の電圧 V_i を要素とする列ベクトルである。このうち、 $[V_i]$ は、モデルの波源電圧として与えられ、 $[Z_{ij}]$ は、モデルに基づいて計算される。また、 $[I_j]$ は、連立方程式の未知数に対応する。

【 0 0 0 7 】

図 1 3 は、このようなモーメント法による従来の電流計算処理のフローチャートである。従来の処理装置は、まず、送信アンテナと E U T のモデルのデータを

読み込み（ステップ S 1）、送信アンテナの回転角度の初期値に対する相互インピーダンス Z_{ij} を計算する（ステップ S 2）。

【0008】

次に、（1）式の係数行列 $[Z_{ij}]$ を生成し、その行列の LDU 分解を行って（ステップ S 3）、前進代入・後退代入により電流 I_j を求める（ステップ S 4）。ここで、LDU 分解とは、連立方程式を解くために、係数行列を下三角行列 L、対角行列 D、および上三角行列 U の積に変換する操作を表し、前進代入および後退代入とは、これらの行列を用いて解を求める計算方法を表す。

【0009】

次に、処理装置は、送信アンテナの角度を変更するか否かを判定する（ステップ S 5）。角度を変更する場合は、次の角度に対する相互インピーダンス Z_{ij} を計算し（ステップ S 2）、ステップ S 3 以降の処理を行う。そして、すべての角度における電流計算が終了すると、ステップ S 5 において角度の変更を停止し、処理を終了する。

【0010】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上述した従来の計算方法には、以下のような問題がある。

従来の計算方法では、アンテナの角度を変更する度に（1）式の左辺の相互インピーダンス Z_{ij} を計算し、相互インピーダンス行列 $[Z_{ij}]$ を再構成して、連立方程式を解く必要がある。このとき、1つの相互インピーダンス Z_{ij} の値を計算するだけでも長い時間がかかるため、システムの要素数が多数になると、 $[Z_{ij}]$ を構成するすべての要素 Z_{ij} を求めるのに膨大な時間を要する。さらに、 k 個の角度について $[Z_{ij}]$ を構成し直すと、計算時間は k 倍になってしまう。

【0011】

本発明の課題は、電波を受信する任意形状の物体の受信特性のシミュレーションを高速化するシミュレーション装置および方法を提供することである。

【0012】

【課題を解決するための手段】

図 1 は、本発明のシミュレーション装置の原理図である。図 1 のシミュレーシ

ョン装置は、電流計算手段 2 1、2 2、電流格納手段 2 3、および出力手段 2 4 を備え、波源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートする。

【0 0 1 3】

電流計算手段 2 1 は、波源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、波源の連立方程式を用いて、波源の電流値を計算する。電流格納手段 2 3 は、波源の電流値を格納する。電流計算手段 2 2 は、波源と物体の位置関係が変化したとき、物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、電流格納手段 2 3 に格納された電流値を定数とする、物体の連立方程式を用いて、物体の電流値を計算する。出力手段 2 4 は、物体の電流値に基づいて物体の受信特性を求め、その受信特性を出力する。

【0 0 1 4】

波源は、例えば、送信アンテナに対応し、物体は、例えば、受信アンテナや E U T に対応する。シミュレーション装置は、(1) 式の代わりに、波源に関する連立方程式と物体に関する連立方程式を別々に生成して、電流値を計算する。

【0 0 1 5】

まず、電流計算手段 2 1 は、波源を構成する複数の要素の電流に関する連立方程式を解くことで、波源の電流値を求め、電流格納手段 2 3 に格納する。次に、波源と物体の相対的な位置関係が変化すると、電流計算手段 2 2 は、電流格納手段 2 3 に格納された電流値を取り出し、それらの値を定数として用いて、物体を構成する複数の要素の電流に関する連立方程式を生成する。そして、その連立方程式を解くことで、物体の電流値を求め、出力手段 2 4 に渡す。出力手段 2 4 は、受け取った電流値を用いて、受信感度のような物体の受信特性を求め、それを出力する。

【0 0 1 6】

このようなシミュレーション装置によれば、波源の電流値を一定とみなすことで、波源の連立方程式と物体の連立方程式を分離することができ、波源の電流値と物体の電流値を別々に求めることが可能となる。このとき、波源の連立方程式の係数行列は、波源の要素間の相互インピーダンスのみから構成することができ

、物体の連立方程式の係数行列は、物体の要素間の相互インピーダンスのみから構成することができる。

【0017】

これらの相互インピーダンスは、物体に対する波源の相対的な位置が変化しても変わらないので、係数行列の計算は1回で済むことになる。したがって、従来のように、送信アンテナの角度毎に係数行列の計算を繰り返す必要がなくなり、処理時間が大幅に短縮される。

【0018】

例えば、図1の電流計算手段21、22は、後述する図6の電流計算部53に対応し、図1の電流格納手段23は、図6の電流格納部63に対応し、図1の出力手段24は、図6の電圧計算部55に対応する。

【0019】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照しながら、本発明の実施の形態を詳細に説明する。

図2は、送信アンテナとEUTからなるシステムの解析モデルの例を示している。図2のモデルにおいて、送信アンテナ31は、電波の波源に対応し、EUT32に電界を照射することで電波を送信する。EUT32は、ガラスアンテナを装備した自動車に対応し、送信アンテナ31から送信される電波を受信する。このとき、(1)式は、図3に示すような連立方程式に書き換えることができる。

【0020】

図3の係数行列において、小行列41は、EUT32を構成する n 個の要素間の相互インピーダンス $Z_{Ei,j}$ ($i=1, \dots, n, j=1, \dots, n$)を要素とする行列であり、小行列44は、送信アンテナ31を構成する m 個の要素間の相互インピーダンス $Z_{Ai,j}$ ($i=1, \dots, m, j=1, \dots, m$)を要素とする行列である。

【0021】

また、小行列42は、EUT32を構成する要素と送信アンテナ31を構成する要素の間の相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ ($i=1, \dots, n, j=1, \dots, m$)を要素とする行列であり、小行列43は、相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ (i

$= 1, \dots, m, j = 1, \dots, n)$ を要素とする行列である。

【0022】

また、電流 $I E_j$ ($j = 1, \dots, n$) は、EUT 32 の各要素に流れる電流を表し、電流 $I A_j$ ($j = 1, \dots, m$) は、送信アンテナ 31 の各要素に流れる電流を表す。また、電圧 V は、送信アンテナ 31 の送信電圧である。

【0023】

ここで、送信アンテナ 31 と EUT 32 の距離が十分に離れている場合、EUT 32 に流れる電流による送信アンテナ 31 への影響は非常に小さいと考えられる。したがって、EUT 32 に対する送信アンテナ 31 の角度が変わっても、送信アンテナ 31 に流れる電流はほとんど変化せず、一定値とみなすことができる。この場合、EUT 32 の電流の計算において、送信アンテナ 31 を定電流源として利用することができる。

【0024】

そこで、最初に送信アンテナ 31 のみをモデル化し、送信アンテナ 31 の電流 $I A_1 \sim I A_m$ を求める。これらの電流 $I A_1 \sim I A_m$ のみを未知数とする連立方程式は、図 3 の小行列 44 を用いて、図 4 のように構成される。この連立方程式を解いて得られた電流値を既知の値として、図 3 の小行列 41、43 を係数行列とする連立方程式に代入し、EUT 32 の電流 $I E_1 \sim I E_n$ のみを未知数とする連立方程式を作成する。電流 $I E_1 \sim I E_n$ に関する連立方程式は、図 5 のように構成される。

【0025】

図 5 において、右辺の電圧項は、電流 $I A_j$ と相互インピーダンス $Z T_{i,j}$ の積で与えられ、送信アンテナ 31 の角度毎に変化する。しかし、左辺の相互インピーダンス行列 $[Z E_{i,j}]$ は角度が変わっても変化しないので、この行列の計算は 1 回だけで済むことになる。

【0026】

例えば、 n を 3～4 万程度とし、 m を 100 程度とすると、相互インピーダンス $Z E_{i,j}$ の計算には、相互インピーダンス $Z T_{i,j}$ の計算よりはるかに多くの時間を必要とする。したがって、角度が変化したときの相互インピーダンス $Z E_{i,j}$ の

計算を省略することで、電流計算を大幅に高速化することが可能になる。このような簡略化された計算方法は、一般に、波源である送信部と電波を受信する受信部との距離が十分にある場合に、利用可能となる。

【 0 0 2 7 】

図 6 は、このような電流計算に基づくシミュレーション装置の構成図である。図 6 のシミュレーション装置は、インピーダンス計算部 5 1、LDU 分解部 5 2、電流計算部 5 3、電圧項計算部 5 4、電圧計算部 5 5、行列格納部 6 1、インピーダンス格納部 6 2、電流格納部 6 3、および電圧項格納部 6 4 を備える。

【 0 0 2 8 】

インピーダンス計算部 5 2 は、与えられたモデルの相互インピーダンスを計算し、インピーダンス格納部 6 2 に格納する。LDU 分解部 5 2 は、計算された相互インピーダンスを要素とする相互インピーダンス行列を生成し、その行列の LDU 分解を行って、分解された行列のデータを行列格納部 6 1 に格納する。

【 0 0 2 9 】

電流計算部 5 3 は、インピーダンス計算部 5 1 からのデータ、LDU 分解部 5 2 からのデータ、行列格納部 6 1 のデータ、および電圧項格納部 6 4 のデータのうち、必要なものを用いて電流を計算し、電流格納部 6 3 に格納する。

【 0 0 3 0 】

電圧項計算部 5 4 は、インピーダンス計算部 5 1 からのデータと電流格納部 6 3 のデータを用いて、図 5 の電圧項を計算し、電圧項格納部 6 4 に格納する。電圧計算部 5 5 は、電流計算部 5 3 からのデータを用いて EUT の所定位置の電圧を計算し、その値をシミュレーション結果として出力する。

【 0 0 3 1 】

図 7 は、図 6 のシミュレーション装置によるシミュレーション処理のフローチャートである。シミュレーション装置は、まず、与えられたモデルに対して、送信アンテナの電流を一定とみなした計算方法が利用できるか否かを判定する（ステップ S 1 1）。ここでは、例えば、送信アンテナと EUT の距離が所定の閾値以上か否かをチェックし、距離が閾値以上であれば、この計算方法が利用可能と判定し、距離が閾値未満であれば、この計算方法は利用不可能と判定する。

【 0 0 3 2 】

この計算方法が利用可能であれば、次に、シミュレーション装置は、送信アンテナと E U T のモデルのデータを読み込み（ステップ S 1 2）、インピーダンス計算部 5 1 は、送信アンテナのみの相互インピーダンス $Z_{Ai,j}$ を計算し、計算結果を電流計算部 5 3 に渡す（ステップ S 1 3）。そして、電流計算部 5 3 は、受け取った $Z_{Ai,j}$ を用いて図 4 の連立方程式を生成し、送信アンテナの電流 I_{Aj} を求めて、電流格納部 6 3 に格納する（ステップ S 1 4）。

【 0 0 3 3 】

次に、インピーダンス計算部 5 1 は、E U T のみの相互インピーダンス $Z_{Ei,j}$ を計算し、計算結果を L D U 分解部 5 2 に渡す（ステップ S 1 5）。そして、L D U 分解部 5 2 は、受け取った $Z_{Ei,j}$ を用いて相互インピーダンス行列 $[Z_{Ei,j}]$ を生成し、その行列の L D U 分解を行って、分解結果を行列格納部 6 1 に格納する（ステップ S 1 6）。

【 0 0 3 4 】

次に、インピーダンス計算部 5 1 は、送信アンテナと E U T の相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ を計算し、計算結果を電圧項計算部 5 4 に渡す。そして、電圧項計算部 5 4 は、受け取った $Z_{Ti,j}$ と電流格納部 6 3 に格納された電流 I_{Aj} を用いて、図 5 の電圧項を計算し、電圧項格納部 6 4 に格納する（ステップ S 1 7）。

【 0 0 3 5 】

次に、シミュレーション装置は、送信アンテナの角度を変更するか否かを判定する（ステップ S 1 8）。角度を変更する場合、インピーダンス計算部 5 1 は、次の角度に対する新たな相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ を計算し、電圧項計算部 5 4 は、新たな $Z_{Ti,j}$ と電流格納部 6 3 に格納された電流 I_{Aj} を用いて、新たな電圧項を計算し、電圧項格納部 6 4 に格納する（ステップ S 1 7）。そして、すべての角度における電圧項の計算が終了すると、シミュレーション装置は、ステップ S 1 8 において角度の変更を停止する。

【 0 0 3 6 】

次に、電流計算部 5 3 は、行列格納部 6 1 に格納された $[Z_{Ei,j}]$ の分解結果と、電圧項格納部 6 4 に格納された電圧項を用いて、図 5 の連立方程式を生成す

る。そして、前進代入・後退代入により、各角度に対する E U T の電流 I_{Ej} を求め、電圧計算部 5 5 に渡す（ステップ S 1 9）。

【 0 0 3 7 】

そして、電圧計算部 5 5 は、受け取った電流 I_{Ej} を用いて、各角度に対する E U T の電圧を計算し、計算結果を E U T の受信特性として出力する（ステップ S 2 0）。このとき、電圧値の計算結果は、例えば、図 1 2 のような指向特性のグラフとして、画面上に表示される。

【 0 0 3 8 】

また、ステップ S 1 1 において、送信アンテナの電流を一定とみなした計算方法が利用不可能な場合、シミュレーション装置は、図 1 3 に示した処理に従って電流を計算し（ステップ S 2 1）、ステップ S 2 0 の処理を行う。

【 0 0 3 9 】

このようなシミュレーション処理によれば、最も時間のかかる E U T の相互インピーダンス $Z_{Ei,j}$ の計算が 1 回で済むため、処理時間が大幅に短縮できる。また、相互インピーダンス行列 $[Z_{Ei,j}]$ の L D U 分解も 1 回で済むため、処理がさらに高速化されるという利点がある。

【 0 0 4 0 】

ここで、送信アンテナから自動車に電波を照射して、自動車のガラスアンテナの指向特性を計算する解析を例に挙げて、このシミュレーション処理の効果を説明する。シミュレーション対象の送信アンテナの角度が 7 2 個ある場合、まず、従来の計算方法では、全解析時間は次式のようになる。

$$\text{解析時間} = (1 \text{ 角度当たりの解析時間}) \times 72 \quad (2)$$

これに対して、図 7 の計算方法によれば、全解析時間は次式のようになる。

$$\begin{aligned} \text{解析時間} = & (1 \text{ 角度当たりの解析時間}) \times 1 + \\ & (\text{アンテナ - E U T の相互インピーダンスの計算時間}) \times 71 \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、（アンテナ－EUTの相互インピーダンスの計算時間） \ll （1角度当たりの解析時間）という関係があるため、（3）式の解析時間は、ほとんど1角度当たりの解析時間に等しいとみなすことができる。つまり、図7の計算方法により、およそ72倍もの高速化を図ることができる。

【0041】

図7のシミュレーション処理では、送信アンテナの回転角度の変化に対するEUTの指向特性をシミュレートしているが、同様にして、EUTに対する送信アンテナの相対的な位置の変化に対するEUTの受信特性を、シミュレートすることができる。

【0042】

この場合、シミュレーション装置は、送信アンテナの位置を変化させて、新たな位置に対応する相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ を計算する。そして、その $Z_{Ti,j}$ と、電流格納部63に保存された電流 I_{Aj} と、行列格納部61に保存された行列データを用いて、新たな位置に対応するEUTの連立方程式を生成し、新たな電流値を計算する。

【0043】

また、図7のシミュレーション処理は、上述したように、送信アンテナとEUTの距離が十分に離れている場合に有効であるが、このような条件を課すことなく、処理を高速化することも可能である。例えば、EUTの相互インピーダンス $Z_{Ei,j}$ を保存しておき、各角度における電流計算においてそれを利用することで、図3の相互インピーダンスの計算時間を削減することができる。

【0044】

図8は、このようなシミュレーション処理のフローチャートである。シミュレーション装置は、まず、送信アンテナとEUTのモデルのデータを読み込み（ステップS31）、インピーダンス計算部51は、送信アンテナの相互インピーダンス $Z_{Ai,j}$ を計算して、インピーダンス格納部62に格納する（ステップS32）。

【0045】

次に、インピーダンス計算部 5 1 は、EUT の相互インピーダンス $Z_{Ei,j}$ を計算して、インピーダンス格納部 6 2 に格納し（ステップ S 3 3）、送信アンテナと EUT の相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ を計算して、計算結果を LDU 分解部 5 2 に渡す。

【 0 0 4 6 】

この場合、 $Z_{Ai,j}$ と $Z_{Ei,j}$ は、送信アンテナの角度に依存しないデータとして、インピーダンス格納部 6 2 に格納され、 $Z_{Ti,j}$ は、送信アンテナの角度に依存するデータとして、LDU 分解部 5 2 に渡される。

【 0 0 4 7 】

次に、LDU 分解部 5 2 は、インピーダンス格納部 6 2 に格納された $Z_{Ai,j}$ および $Z_{Ei,j}$ を取り出し、それらのデータとインピーダンス計算部 5 1 から受け取った $Z_{Ti,j}$ を用いて、図 3 の相互インピーダンス行列を生成する（ステップ S 3 5）。そして、その行列の LDU 分解を行って、分解結果を電流計算部 5 3 に渡す（ステップ S 3 6）。

【 0 0 4 8 】

次に、電流計算部 5 3 は、受け取った相互インピーダンス行列の分解結果を用いて、図 3 の連立方程式を生成する。そして、前進代入・後退代入により、EUT の電流 I_{Ej} と送信アンテナの電流 I_{Aj} を求め、電流 I_{Ej} を電圧計算部 5 5 に渡す（ステップ S 3 7）。

【 0 0 4 9 】

次に、シミュレーション装置は、送信アンテナの角度を変更するか否かを判定する（ステップ S 3 8）。角度を変更する場合、インピーダンス計算部 5 1 は、次の角度に対する新たな相互インピーダンス $Z_{Ti,j}$ を計算して、計算結果を LDU 分解部 5 2 に渡す（ステップ S 3 4）。次に、LDU 分解部 5 2 は、受け取った $Z_{Ti,j}$ と、インピーダンス格納部 6 2 に格納された $Z_{Ai,j}$ および $Z_{Ei,j}$ を用いて、相互インピーダンス行列を生成する。そして、新たに生成された相互インピーダンス行列に基づき、ステップ S 3 6 および S 3 7 の処理が繰り返される。

【 0 0 5 0 】

こうして、すべての角度における電流計算が終了すると、シミュレーション装

置は、ステップ S 3 8 において角度の変更を停止する。そして、電圧計算部 5 5 は、受け取った電流 I_{Ej} を用いて、各角度に対する E U T の電圧を計算し、受信特性として出力する（ステップ S 3 9）。

【 0 0 5 1 】

このようなシミュレーション処理によれば、図 7 の処理と同様に、E U T の相互インピーダンス $Z_{Ei,j}$ の計算が 1 回で済むため、処理時間が大幅に短縮できる。

【 0 0 5 2 】

図 2 の例では、E U T として自動車を用いているが、本実施形態では、自動車の代わりに任意の物体を用いて解析モデルを生成することができる。また、本実施形態では、連立方程式の解法として L D U 分解を用いているが、L D U 分解の代わりに任意の行列分解法を用いることができる。例えば、係数行列を下三角行列 L と上三角行列 U の積に変換する L U 分解を用いてもよい。

【 0 0 5 3 】

ところで、図 6 のシミュレーション装置は、例えば、図 9 に示すような情報処理装置（コンピュータ）を用いて構成される。図 9 の情報処理装置は、CPU（中央処理装置）7 1、メモリ 7 2、入力装置 7 3、出力装置 7 4、外部記憶装置 7 5、媒体駆動装置 7 6、およびネットワーク接続装置 7 7 を備え、それらはバス 7 8 により互いに接続されている。

【 0 0 5 4 】

メモリ 7 2 は、例えば、ROM (read only memory)、RAM (random access memory) 等を含み、処理に用いられるプログラムとデータを格納する。CPU 7 1 は、メモリ 7 2 を利用してプログラムを実行することにより、必要な処理を行う。

【 0 0 5 5 】

図 6 のインピーダンス計算部 5 1、L D U 分解部 5 2、電流計算部 5 3、電圧項計算部 5 4、および電圧計算部 5 5 は、プログラムにより記述されたソフトウェアコンポーネントに対応し、メモリ 7 2 の特定のプログラムコードセグメントに格納される。

【 0 0 5 6 】

入力装置 7 3 は、例えば、キーボード、ポインティングデバイス、タッチパネル等であり、ユーザからの指示や情報の入力に用いられる。出力装置 7 4 は、例えば、ディスプレイ、プリンタ、スピーカ等であり、ユーザへの問い合わせや処理結果の出力に用いられる。

【 0 0 5 7 】

外部記憶装置 7 5 は、例えば、磁気ディスク装置、光ディスク装置、光磁気ディスク (magneto-optical disk) 装置、テープ装置等である。情報処理装置は、この外部記憶装置 7 5 に、上述のプログラムとデータを保存しておき、必要に応じて、それらをメモリ 7 2 にロードして使用する。また、外部記憶装置 7 5 は、図 6 の行列格納部 6 1、インピーダンス格納部 6 2、電流格納部 6 3、および電圧項格納部 6 4 として用いることもできる。

【 0 0 5 8 】

媒体駆動装置 7 6 は、可搬記録媒体 7 9 を駆動し、その記録内容にアクセスする。可搬記録媒体 7 9 としては、メモ리카ード、フロッピーディスク、CD-R OM (compact disk read only memory)、光ディスク、光磁気ディスク等、任意のコンピュータ読み取り可能な記録媒体が用いられる。ユーザは、この可搬記録媒体 7 9 に上述のプログラムとデータを格納しておき、必要に応じて、それらをメモリ 7 2 にロードして使用する。

【 0 0 5 9 】

ネットワーク接続装置 7 7 は、LAN (local area network) 等の任意の通信ネットワークに接続され、通信に伴うデータ変換を行う。また、情報処理装置は、上述のプログラムとデータをネットワーク接続装置 7 7 を介して、サーバ等の他の装置から受け取り、必要に応じて、それらをメモリ 7 2 にロードして使用する。

【 0 0 6 0 】

図 1 0 は、図 9 の情報処理装置にプログラムとデータを供給することのできるコンピュータ読み取り可能な記録媒体を示している。可搬記録媒体 7 9 やサーバ 8 0 のデータベース 8 1 に保存されたプログラムとデータは、メモリ 7 2 にロー

ドされる。このとき、サーバ 80 は、プログラムとデータを搬送する搬送信号を生成し、ネットワーク上の任意の伝送媒体を介して、情報処理装置に送信する。そして、CPU 71 は、そのデータを用いてそのプログラムを実行し、必要な処理を行う。

(付記 1) 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするシミュレーション装置であって、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算する第 1 の電流計算手段と、

前記発生源の電流値を格納する電流格納手段と、

前記発生源と前記物体の位置関係が変化したとき、該物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、前記電流格納手段に格納された電流値を定数とする、物体の連立方程式を用いて、物体の電流値を計算する第 2 の電流計算手段と、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、該物体の受信特性を出力する出力手段と

を備えることを特徴とするシミュレーション装置。

(付記 2) 前記第 2 の電流計算手段は、前記物体の要素間の相互インピーダンスを計算する手段と、前記発生源の要素と前記物体の要素の間の相互インピーダンスを計算する手段と、前記物体の要素間の相互インピーダンスの行列データを格納する行列格納手段とを含み、前記発生源の位置が変化したとき、新たな位置に対応する前記発生源の要素と物体の要素の間の相互インピーダンスを計算し、前記行列格納手段に格納された行列データを係数行列として用いて、該新たな位置に対応する物体の連立方程式を生成し、新たな電流値を計算することを特徴とする付記 1 記載のシミュレーション装置。

(付記 3) 前記第 2 の電流計算手段は、所定の分解方法で係数行列を分解する分解手段をさらに含み、前記行列格納手段は、分解された係数行列の行列データを格納することを特徴とする付記 2 記載のシミュレーション装置。

(付記 4) 前記発生源の電流値を定数とみなした計算方法が利用できるか否か

を判定する判定手段をさらに備え、前記第 2 の電流計算手段は、該計算方法が利用できる場合に、前記物体の連立方程式を用いて前記物体の電流値を計算することを特徴とする付記 1 記載のシミュレーション装置。

(付記 5) 送信アンテナから送信される電波を受信する物体の指向特性をシミュレートするシミュレーション装置であって、

前記送信アンテナを複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、送信アンテナの連立方程式を用いて、送信アンテナの電流値を計算する第 1 の電流計算手段と、

前記送信アンテナの電流値を格納する電流格納手段と、

前記物体の要素間の相互インピーダンスの行列データを格納する行列格納手段と、

前記物体に対する前記送信アンテナの角度に応じて、該送信アンテナの要素と該物体の要素の間の相互インピーダンスを計算する手段と、

前記物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、前記行列格納手段に格納された行列データを係数行列とし、前記電流格納手段に格納された電流値と、前記送信アンテナの要素と物体の要素の間の相互インピーダンスとを定数として用いて、前記送信アンテナの角度に対応する物体の連立方程式を生成し、物体の電流値を計算する第 2 の電流計算手段と、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の指向特性を求め、該物体の指向特性を出力する出力手段と

を備えることを特徴とするシミュレーション装置。

(付記 6) 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするシミュレーション装置であって、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の該発生源の要素間の相互インピーダンスのデータと、前記物体を複数の要素に分割した場合の該物体の要素間の相互インピーダンスのデータとを、該発生源の位置に依存しないデータとして格納するインピーダンス格納手段と、

前記発生源の位置が変化したとき、新たな位置に対応する前記発生源の要素と前記物体の要素の間の相互インピーダンスを計算する手段と、

前記発生源および物体の各要素に流れる電流を未知数とし、前記インピーダンス格納手段に格納されたデータと、前記発生源の要素と物体の要素の間の相互インピーダンスとからなる行列を係数行列とする、連立方程式を用いて、電流値を計算する電流計算手段と、

前記電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、該物体の受信特性を出力する出力手段と

を備えることを特徴とするシミュレーション装置。(3)

(付記7) 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするコンピュータのためのプログラムを記録した記録媒体であって、該プログラムは、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算し、

前記発生源の電流値を保存し、

前記発生源と前記物体の位置関係が変化したとき、該物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、保存された電流値を定数とする、物体の連立方程式を用いて、物体の電流値を計算し、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、

前記物体の受信特性を出力する

処理を前記コンピュータに実行させることを特徴とするコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

(付記8) 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするコンピュータにプログラムを搬送する搬送信号であって、該プログラムは、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算し、

前記発生源の電流値を保存し、

前記発生源と前記物体の位置関係が変化したとき、該物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、保存された電流値を定数とする、物体の連立方程式を用いて、物体の電流値を計算し、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、

前記物体の受信特性を出力する

処理を前記コンピュータに実行させることを特徴とする搬送信号。

(付記 9) 電波発生源から送信される電波を受信する物体の受信特性をシミュレートするシミュレーション方法であって、

前記発生源を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とする、発生源の連立方程式を生成し、

前記発生源の連立方程式を用いて、発生源の電流値を計算し、

前記発生源の電流値を保存し、

前記発生源の位置に応じて、前記物体を複数の要素に分割した場合の各要素に流れる電流を未知数とし、保存された電流値を定数とする、物体の連立方程式を生成し、

前記物体の連立方程式を用いて、前記発生源の位置に対応する物体の電流値を計算し、

前記物体の電流値に基づいて前記物体の受信特性を求め、

前記物体の受信特性を提示する

ことを特徴とするシミュレーション方法。

【 0 0 6 1 】

【発明の効果】

本発明によれば、波源から任意形状の物体に電波が送信される場合の物体の受信特性のシミュレーションにおいて、冗長な相互インピーダンスの計算を省略することができ、シミュレーション処理が高速化される。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

本発明のシミュレーション装置の原理図である。

【図 2】

解析モデルを示す図である。

【図 3】

モデルの連立方程式を示す図である。

【図 4】

送信アンテナの電流の連立方程式を示す図である。

【図 5】

EUTの電流の連立方程式を示す図である。

【図 6】

シミュレーション装置の構成図である。

【図 7】

第 1 のシミュレーション処理のフローチャートである。

【図 8】

第 2 のシミュレーション処理のフローチャートである。

【図 9】

情報処理装置の構成図である。

【図 1 0】

記録媒体を示す図である。

【図 1 1】

送信アンテナと受信アンテナを示す図である。

【図 1 2】

受信アンテナの指向特性を示す図である。

【図 1 3】

従来の電流計算処理のフローチャートである。

【符号の説明】

- 1 1、3 1 送信アンテナ
- 1 2 受信アンテナ
- 1 3 座標軸
- 1 4 直線
- 1 5 曲線
- 2 1、2 2 電流計算手段
- 2 3 電流格納手段
- 2 4 出力手段

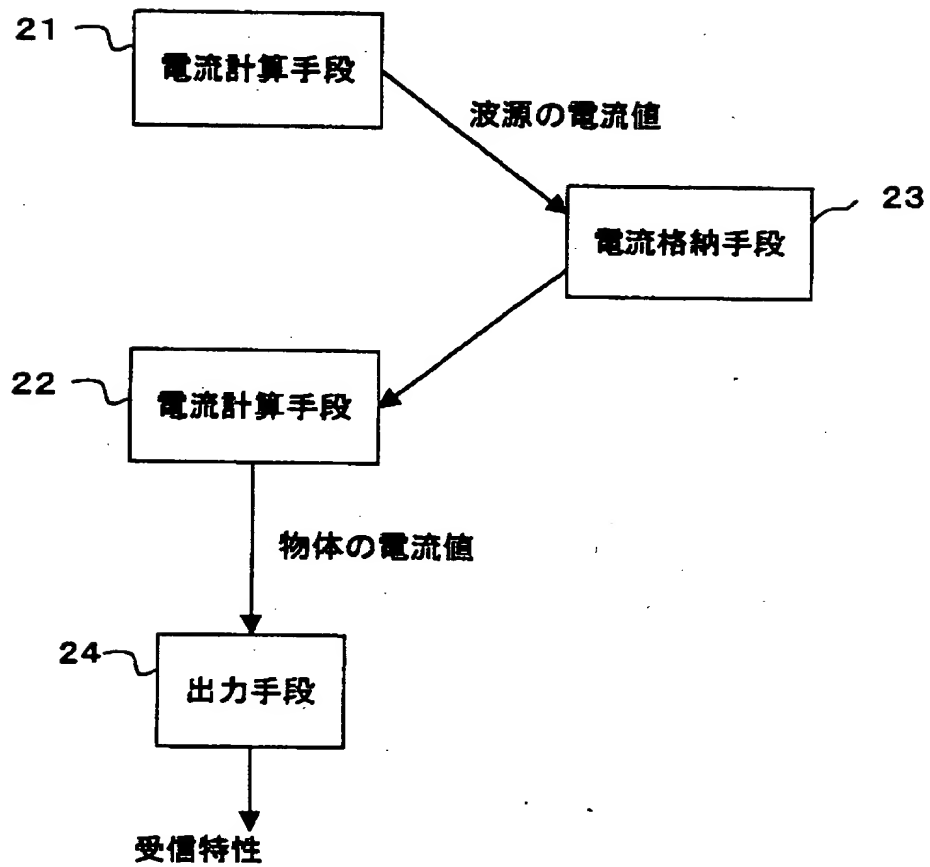
- 3 2 E U T
- 4 1、4 2、4 3、4 4 小行列
- 5 1 インピーダンス計算部
- 5 2 L D U 分解部
- 5 3 電流計算部
- 5 4 電圧項計算部
- 5 5 電圧計算部
- 6 1 行列格納部
- 6 2 インピーダンス格納部
- 6 3 電流格納部
- 6 4 電圧項格納部
- 7 1 C P U
- 7 2 メモリ
- 7 5 外部記憶装置
- 7 6 媒体駆動装置
- 7 7 ネットワーク接続装置
- 7 8 バス
- 7 9 可搬記録媒体
- 8 0 サーバ
- 8 1 データベース

【書類名】

図面

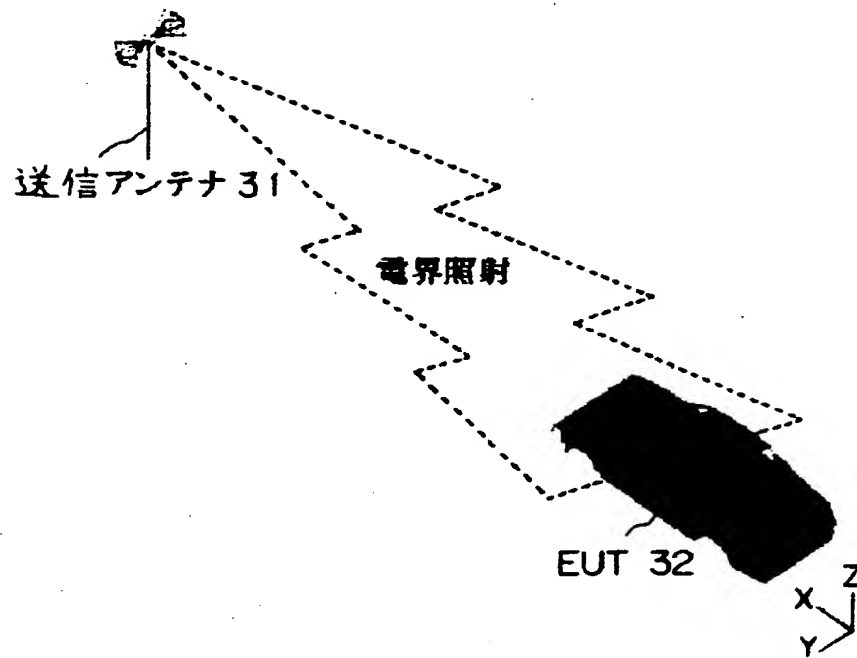
【図 1】

本発明の原理図



【図 2】

解析モデルを示す図



【図 3】

モデルの連立方程式を示す図

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{c} 41 \end{array} \begin{array}{c} \leftarrow \text{計算時間 大} \rightarrow \end{array} \begin{array}{c} \leftarrow \text{計算時間 小} \rightarrow \end{array} \begin{array}{c} 43 \end{array} \\
 \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline Z_{E1,1} & Z_{E1,2} & \cdots & Z_{E1,n} \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline Z_{En,1} & Z_{En,2} & \cdots & Z_{En,n} \\ \hline Z_{r1,1} & \cdot & \cdots & Z_{r1,n} \\ \hline \cdot & & & \cdot \\ \hline Z_{rm,1} & \cdot & \cdots & Z_{rm,n} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline Z_{r1,1} & \cdot & Z_{r1,m} \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline \cdot & \cdot & \cdot \\ \hline Z_{rm,1} & \cdot & Z_{rm,m} \\ \hline Z_{A1,1} & \cdot & Z_{A1,m} \\ \hline \cdot & & \cdot \\ \hline Z_{Am,1} & \cdot & Z_{Am,m} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline I_{E1} \\ \hline \cdot \\ \hline \cdot \\ \hline \cdot \\ \hline I_{En} \\ \hline I_{A1} \\ \hline \cdot \\ \hline I_{Am} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline \begin{array}{|c|} \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline \cdot \\ \hline \cdot \\ \hline 0 \\ \hline 0 \\ \hline V \\ \hline \cdot \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\ \hline \end{array} \\
 \end{array}
 \end{array}$$

$\begin{array}{c} 42 \end{array}$
 $\begin{array}{c} 44 \end{array}$

【図 4】

送信アンテナの電流の連立方程式を示す図

$$\begin{bmatrix} Z_{A,1} & \cdot & Z_{A,m} \\ Z_{A,m,1} & \cdot & Z_{A,m,m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{A1} \\ \cdot \\ I_{Am} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ V \\ \cdot \end{bmatrix}$$

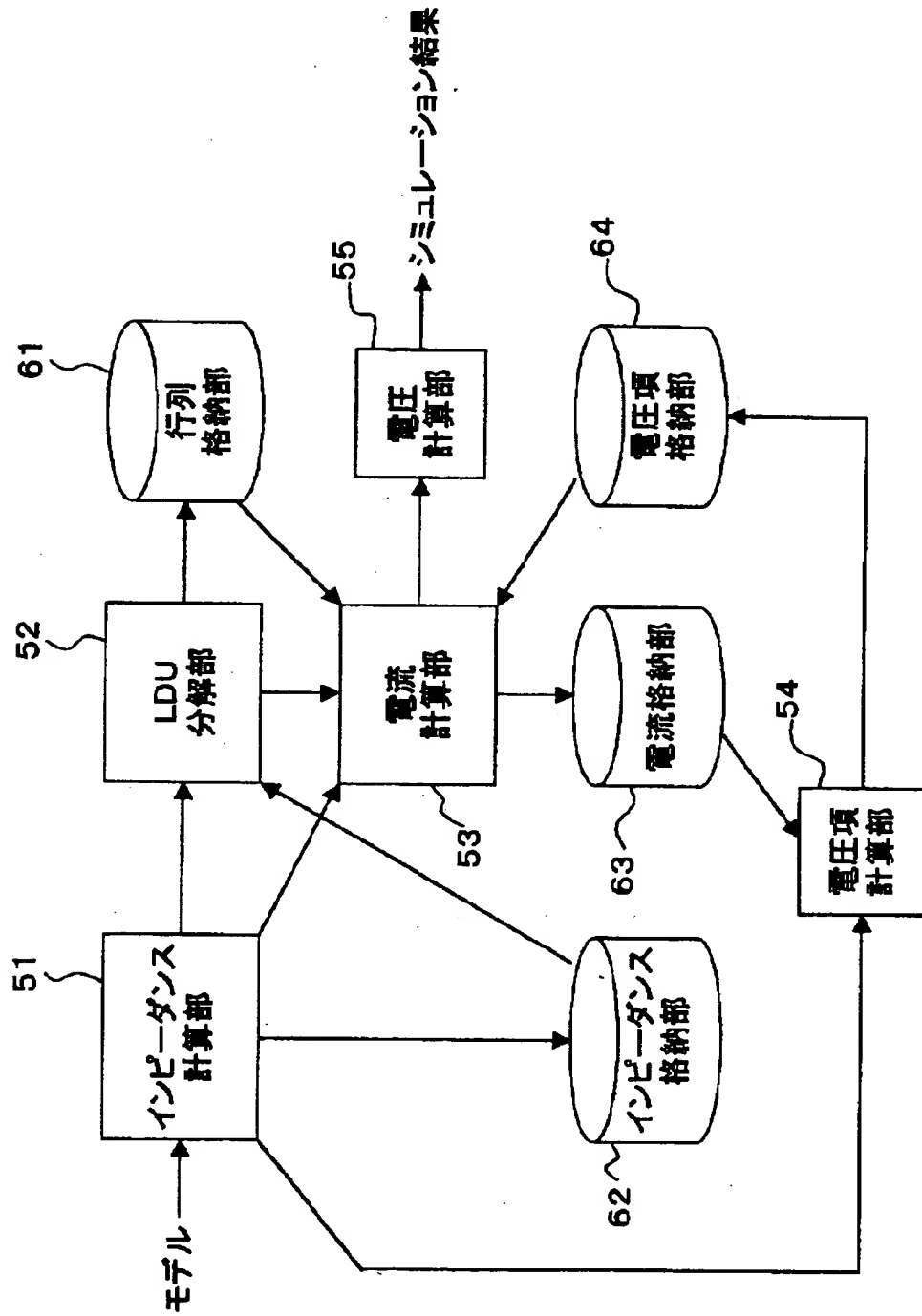
【図 5】

EUTの電流の連立方程式を示す図

$$\begin{bmatrix} Z_{E1,1} & Z_{E1,2} & \cdot & \cdot & Z_{E1,n} \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ Z_{En,1} & Z_{En,2} & \cdot & \cdot & Z_{En,n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_{E1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{En} \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} I_{A1} * Z_{T1,1} + I_{A2} * Z_{T1,2} + \dots I_{Am} * Z_{T1,m} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ I_{A1} * Z_{Tn,1} + I_{A2} * Z_{Tn,2} + \dots I_{Am} * Z_{Tn,m} \end{bmatrix}$$

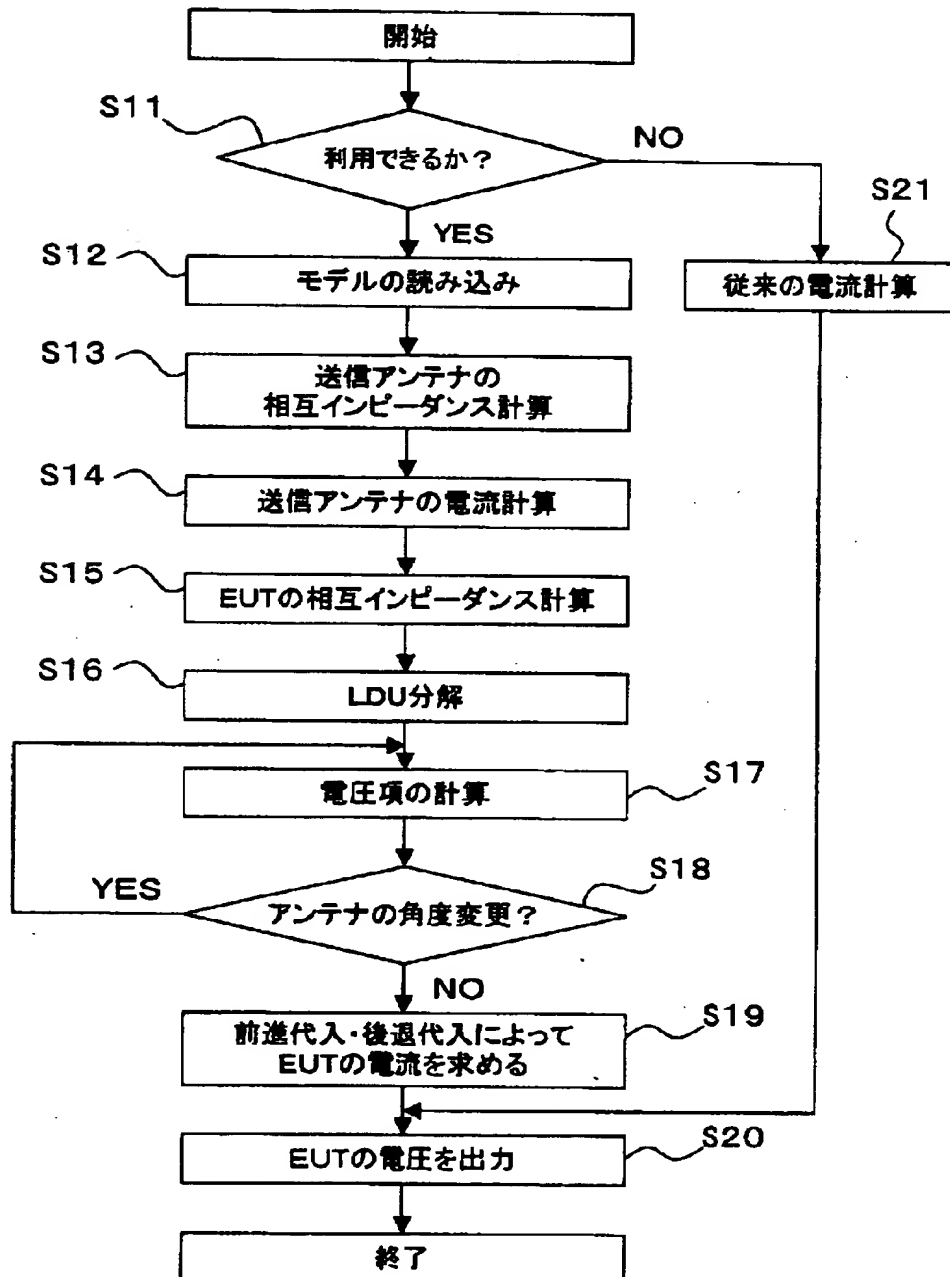
【図 6】

シミュレーション装置の構成図



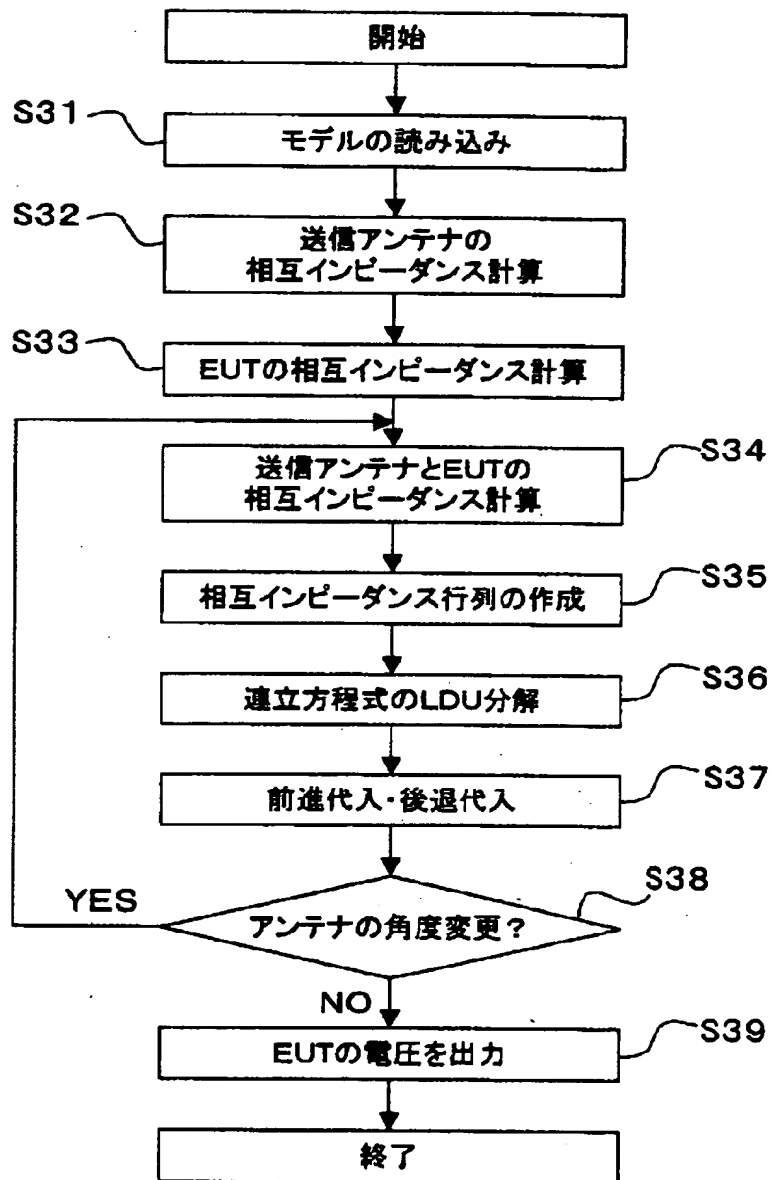
【図 7】

第1のシミュレーション処理のフローチャート



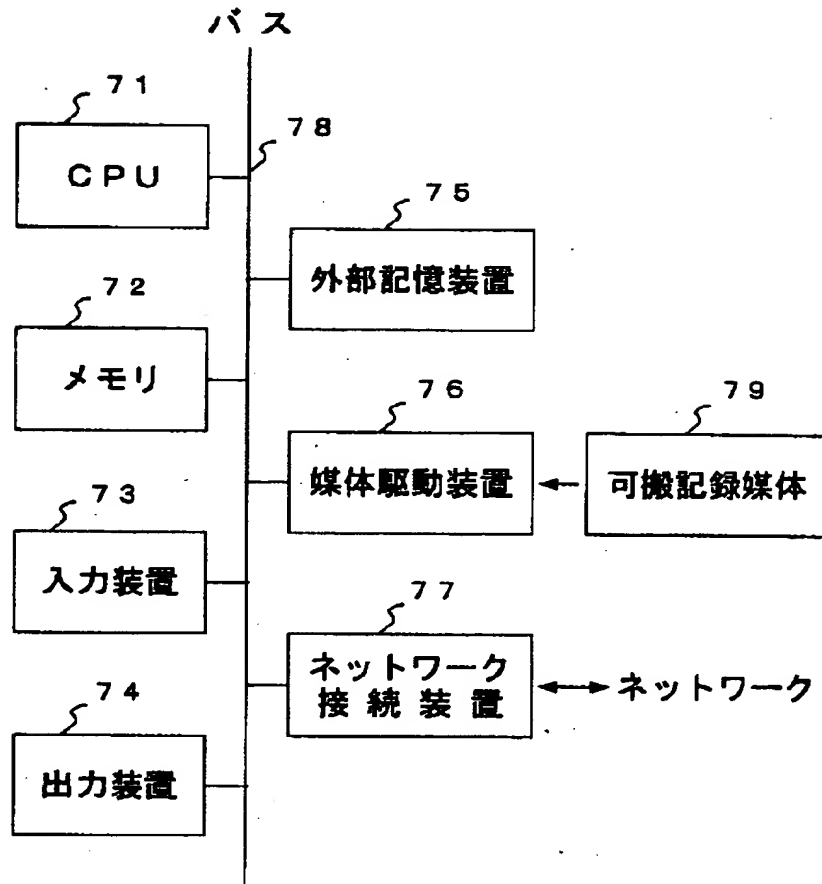
【図 8】

第2のシュミレーション処理のフローチャート



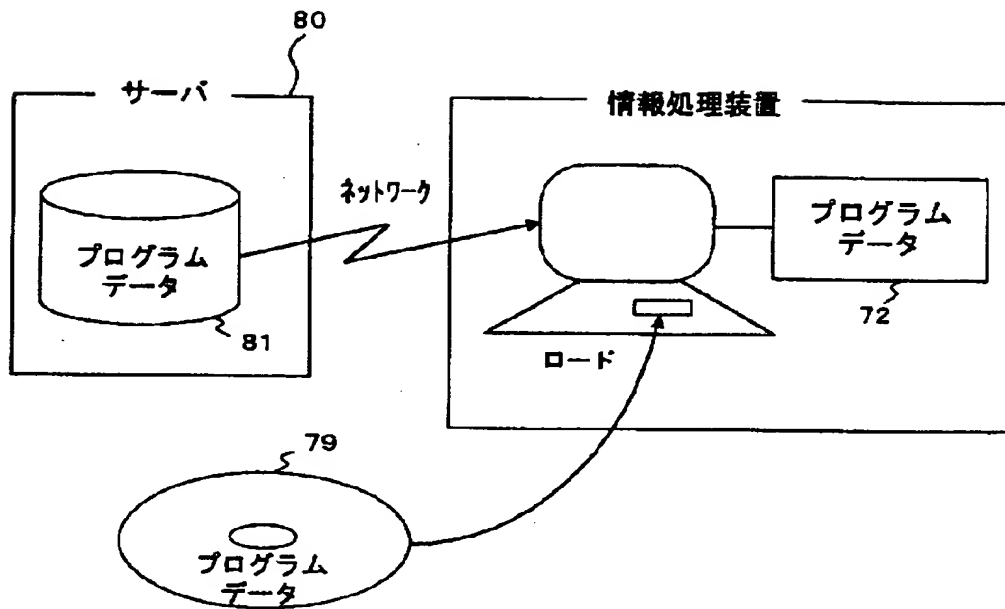
【図9】

情報処理装置の構成図



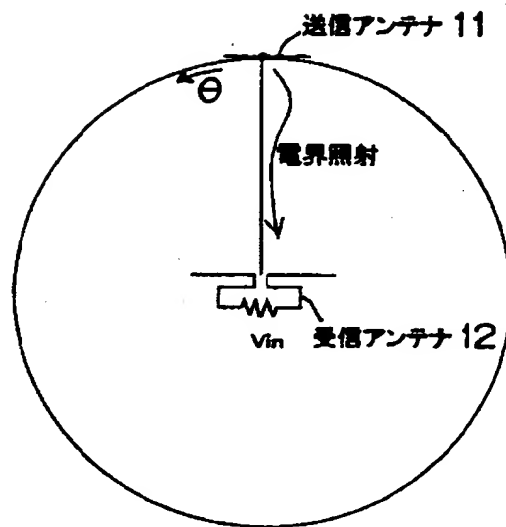
【図10】

記 録 媒 体 を 示 す 図



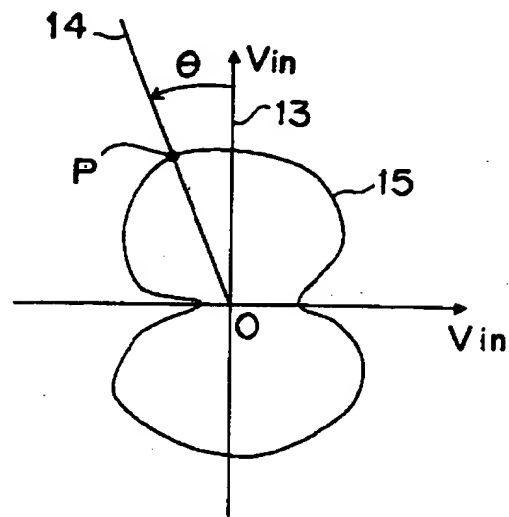
【図 11】

送信アンテナと受信アンテナを示す図



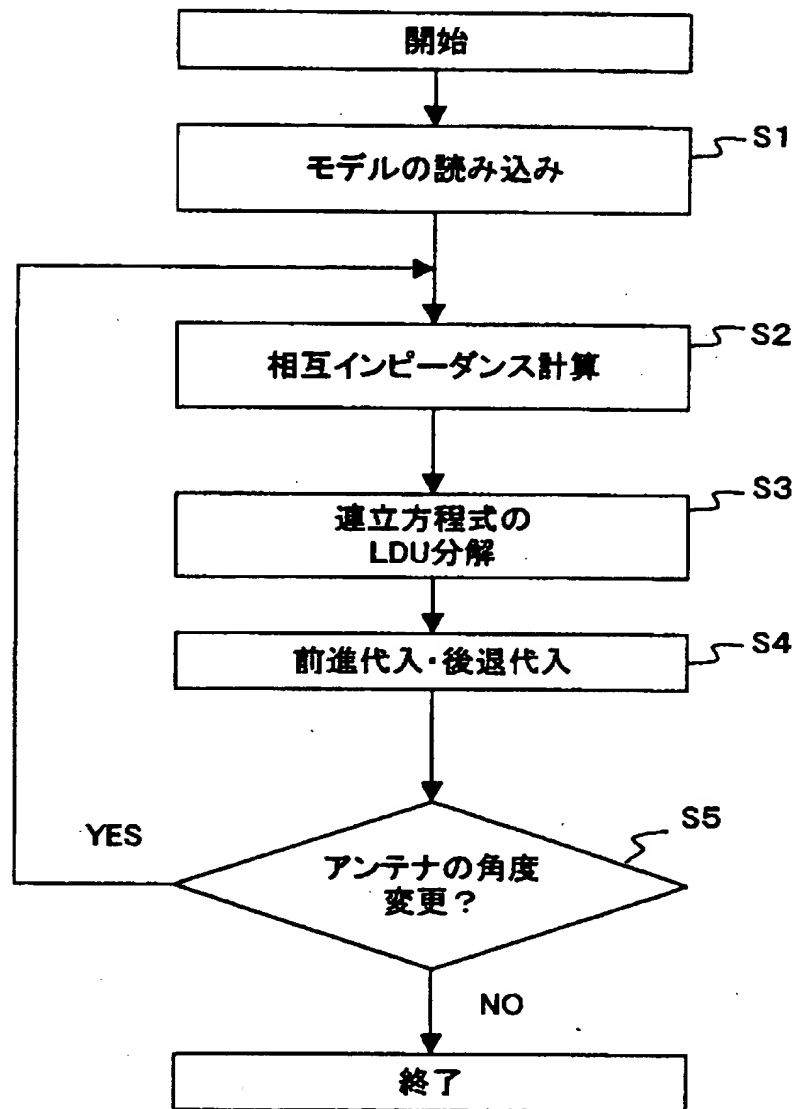
【図 1 2】

受信アンテナの指向特性を示す図



【図13】

従来の電流計算処理のフローチャート



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 電波を受信する任意形状の物体の受信特性のシミュレーションを高速化することが課題である。

【解決手段】 送信アンテナの各要素の電流 $I_{A1} \sim I_{Am}$ のみに関するモーメント法の連立方程式を解き、得られた電流値を定数として、EUTの各要素の電流 $I_{E1} \sim I_{En}$ のみに関するモーメント法の連立方程式を作成する。左辺の係数行列 $[Z_{Ei,j}]$ のLDU分解を保存して再利用し、送信アンテナの各角度に対して、右辺の電圧項のみを再計算して、この連立方程式を解く。そして、各角度に対する電流値から受信特性を求める。

【選択図】 図5

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000005223]

| | |
|----------|-----------------------|
| 1. 変更年月日 | 1996年 3月26日 |
| [変更理由] | 住所変更 |
| 住 所 | 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 |
| 氏 名 | 富士通株式会社 |